

ИАЭ-2131



Ордена Ленина

Институт атомной энергии

им. И.В. Курчатова

В. И. Карпухин, С. И. Алексеев,

В. А. Николаенко

**Единица дозы облучения
в радиационном материаловедении**

ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ им. И.В.КУРЧАТОВА

В.И.Карпужин, С.И.Алексеев,
В.А.Николаенко

ЕДИНИЦА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В РАДИАЦИОННОМ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Москва
1971

Ключевые слова: действие излучений, материалы, нейтронное облучение, радиационное повреждение, доза облучения, эталон, алмаз, кристаллическая решетка.

0303

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе обсуждается проблема воздействия на материалы при нейтронном облучении и предлагается эталонный свидетель условий реакторного облучения, позволяющий судить о дозе по величине созданных нарушений. Обосновывается целесообразность использования в качестве эталонного вещества алмаза и предлагается единица дозы радиационного повреждения, определяемая дозой облучения, при которой расширение кристаллической решетки естественного алмаза составляет одну тысячную (0,001) долю при температуре 100°C .

Получение информации об условиях облучения является одной из важнейших задач радиационного материаловедения. При проведении экспериментов в ядерном реакторе разрешение этой задачи усложняется комплексом воздействий на вещество. Изменение свойств материалов, облучаемых в реакторе, зависит от плотности потока и интегрального потока нейтронов, спектра нейтронов, температуры, количества осколков деления, величины γ - поля и др. Хотя все эти факторы являются решающими для объяснения экспериментальных результатов, многие из них вообще не контролируются, а измерение других производится исследователями различно. Это усложняет интерпретацию происходящих в материале изменений и в большинстве случаев не позволяет сопоставлять данные, полученные разными авторами.

Обычно наибольшее внимание уделяется измерению интегрального потока нейтронов и температуры облучения. Применяемые для этого методы были разработаны для использования их в других областях науки и техники и не всегда могут удовлетворять радиационное материаловедение. Например, интегральный поток нейтронов измеряется с помощью пороговых индикаторов, действие которых основано на активации вещества детектора при облучении нейтронами определенной энергии. Этот метод разработан и успешно применяется в ядерной физике. Однако большинство используе-

ных детекторов имеет эффективный порог энергии активации в районе энергий нейтронов 3 Мэв и выше, тогда как значительный вклад в радиационное повреждение вносят нейтроны с меньшей энергией. В работах по радиационному материаловедению при определении интегральных потоков с помощью этого метода авторы приводят различные значения нижнего порога энергии нейтронов — I; 0,5; 0,18 Мэв, 75 эв. Это мешает сравнению полученных результатов.

Для измерения температуры облучения наиболее часто используют термопары. Их недостаток — необходимость вывода токонесущих проводов из активной зоны реактора на измерительные приборы.

Доза γ -квантов обычно измеряется лишь в тех случаях, когда облучение ведется только γ -лучами. Сложность установления дозы облучения γ -квантами различных энергий вызвала необходимость введения единицы дозы, основанной не на количестве излучения, а на интегральном эффекте, им вызываемом.

В связи с невозможностью измерять с достаточной точностью все факторы, воздействующие на материал при облучении в ядерном реакторе, и с необходимостью сопоставлять результаты, полученные разными авторами, возникает проблема выбора некоторого эталонного стандартного свидетеля условий облучения. В октябре 1967 г. на конференции в Вене было предложено использовать в качестве подобного свидетеля сталь определенной марки [1]. Свидетель предлагался для изучения проблемы охрупчивания сталей, предназначенных для реакторов. Однако такой индикатор имеет существенный недостаток — он не гарантирован от изменений свойств, вносимых технологией изготовления.

Можно перечислить требования, предъявляемые к эталонному свидетелю условий облучения:

- 1) стабильность исходных свойств и повторяемость их изменений при облучении;
- 2) легкость снятия показаний и точность измерений;
- 3) работоспособность в широких диапазонах различных условий облучения;
- 4) сохранение полученной свидетелем информации об условиях облучения в течение продолжительного срока;
- 5) малые габариты;

6) доступность получения и малая стоимость.

При облучении изменяются многие свойства вещества, поэтому важно не только подобрать для свидетеля определенный материал, но и выбрать то его свойство, которое наиболее полно удовлетворяет вышеперечисленным требованиям. Желательно, чтобы свойство, принятое за основу измерения, имело простое соотношение с количеством дефектов, возникших при облучении.

Изучение радиационных нарушений в алмазе и практика использования его для определения условий облучения в ИАЭ им.И.В.Курчатова позволяют в качестве эталонного свидетеля рекомендовать алмаз [2]. Одним из важнейших его преимуществ является возможность использования для определения (по методу изохронального отжига) температуры облучения [3] ^{х)}.

На рис. I представлены зависимости объемного расширения кристаллической решетки алмаза от температуры и дозы нейтронного облучения [2].

Требования, предъявляемые к эталонному свидетелю, удовлетворяются алмазом наиболее полно:

1. Алмаз является одним из наиболее стабильных веществ природы. Незначительное количество примесей в природных образцах обуславливает малый разброс параметра кристаллической решетки даже для алмазов, полученных из разных месторождений. Изменения параметра его кристаллической решетки при облучении также не зависят от партии, из которой получен порошок.

2. Снятие показаний с алмазного свидетеля, если в качестве измеряемого свойства выбран параметр решетки, производится рентгенографическим методом, при этом ошибка определения расширения решетки составляет 0,01%.

3. При облучении алмазного свидетеля при температурах выше 60°C накопленная им информация об условиях облучения может сохраняться практически сколь угодно долго.

х) Аналогичный метод определения температуры применяется в Англии, где в качестве индикатора используется карбид кремния [4].

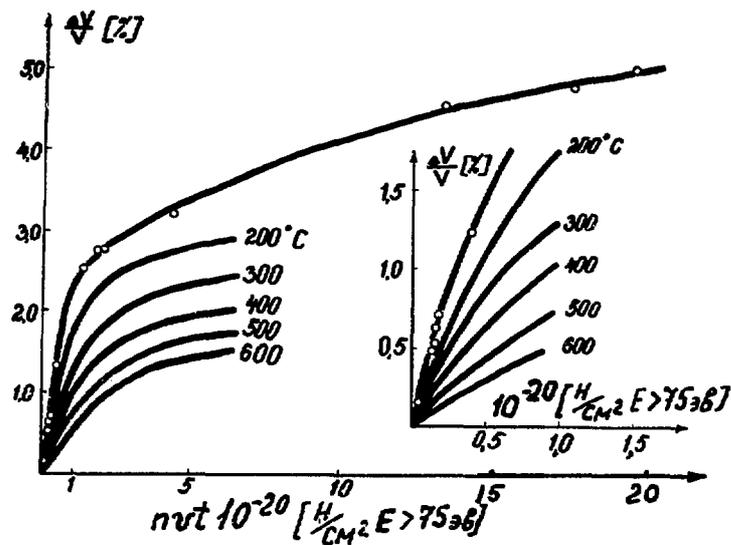


Рис. 1. Изменение объемного расширения кристаллической решетки алмаза от температуры и дозы нейтронного облучения (рабочий канал реактора РЭТ).

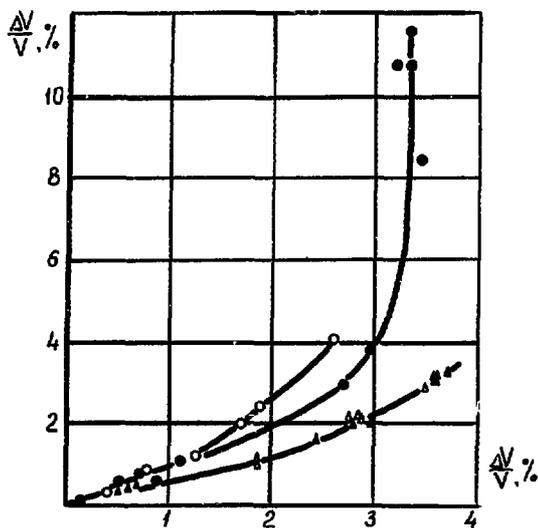


Рис. 2. Расширение кристаллических решеток графита (o) и карбида кремния (Δ) в зависимости от расширения алмаза.

4. Свидетель из алмаза может быть использован в диапазоне интегральных потоков от $5 \cdot 10^{18}$ до $5 \cdot 10^{21}$ н/см² ($E > 75$ эв) и температур облучения от 60 до 800°С. Алмаз химически устойчив.

5. Для алмазного свидетеля используется порошок естественного алмаза размером зерен 10–20 микрон в количестве 2–10 мг. Капсула для порошка имеет наружные размеры: диаметр 1–5 мм, длина 10–15 мм.

6. Порошок алмаза является доступным материалом. Цена одного карата естественного алмаза (200 мг) составляет 2 рубля.

Наконец, при выборе алмаза в качестве эталонного свидетеля и расширения его решетки в качестве измеряемого свойства удовлетворяется еще одно принципиальное свойство – простая связь с концентрацией дефектов (количество точечных дефектов пропорционально расширению кристаллической решетки [5]).

Используя свидетель из алмаза, можно характеризовать условия облучения расширением его решетки, т.е. количеством дефектов, возникших в алмазе при облучении и сохранившихся к моменту измерения. Состояние решетки алмаза отражает спектр, плотность потока и интегральный поток нейтронов, в ней оставлены, "заморожены" процессы радиационного и теплового отжига, влияние

γ -поля и других факторов. Поэтому целесообразно характеризовать условия облучения расширением решетки алмаза при данной температуре облучения. Однако один из факторов, воздействующих на материал при облучении, требует обязательного измерения – это температура, которая определяется с помощью того же алмаза.

Характеризуя условия облучения расширением решетки алмаза, возможно определить и единицу дозы облучения в радиационном материаловедении.

За единицу дозы облучения в радиационном материаловедении принимается доза облучения, при которой расширение кристаллической решетки естественного алмаза составляет одну тысячную (0,001) долю при температуре облучения 100°С.

Характер предполагаемой единицы аналогичен, а необходимость ее появления вызвана примерно теми же обстоятельствами, что и при установлении единицы дозы γ – облучения – рентгена.

При введении новой единицы дозы и использовании алмазного свидетеля все экспериментальные результаты, полученные при облучении различных материалов в разных условиях, будут представлять зависимости свойств исследуемых материалов от расширения решетки алмаза, т.е. зависимости свойств от свойств. Последние же измеряются обычно во много раз более точно, чем условия облучения.

Для окончательного выбора эталонного свидетеля необходимо проведение дополнительных исследований, которые должны быть выполнены в различных условиях облучения в разных лабораториях. Однако уже сейчас можно представить результаты по облучению графита и карбида кремния в различных реакторах, когда одновременно с этими образцами облучались свидетели из алмаза. Эти данные приведены в таблице и построены графически на рис. 2, где по оси абсцисс отложено расширение решетки алмаза, а по оси ординат — расширение графита и карбида кремния. Из рис. 2 видно, что результаты, полученные при облучении в разных условиях, но с использованием алмазных эталонных свидетелей, хорошо согласуются между собой.

В заключение авторы выражают Кузнецову В.Н. благодарность за просмотр работы и критические замечания.

Расширение решетки, %		Температура, °C	ИСТОЧНИК	Расширение решетки, %		Температура, °C	ИСТОЧНИК				
алмаз	графит			алмаз	S; C						
0,415	0,30	30	США [6]	1,87	0,96	30	США [6]				
0,794	0,88			1,87	1,14						
1,268	1,19			2,75	2,12						
1,696	1,99			2,85	2,12						
1,87	2,44			2,88	2,02						
2,608	4,06			3,49	2,83						
0,14	0,10			0,52	СССР PBT			0,52	0,33	100	СССР PBT
0,52	0,63							0,62	0,40		
0,70	0,81							0,70	0,48		
0,86	0,59			2,44	1,57						
1,10	1,12			2,97	1,95						
2,693	2,93			3,58	СССР MP			3,58	3,14		
2,93	3,8							3,59	3,14		
3,17	10,8							3,70	3,22		
3,30	10,8			2,79	1,93			СССР MP			
3,30	11,6	3,57	2,96								
3,424	8,44	2,79	1,92								
				3,57	3,00						

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.J.E.A. Working Group on Engineering Aspects of Irradiation Embrittlement of Reactor Pressure Vessels Steels, Vienna, October 2-4, 1967.
2. Препринт ИАЭ-1650, Москва, 1968.
3. Properties of Reactor Materials and the Effects of Radiation Damage. Proc. Intern. Conf. Berkeley, England, May-June 1961, p.57.
4. Preprint "Temperature Measurements in Uninstrumented D.F.R. Experiments", Intern. Conf. Fastreactor Irradiation Testing. 14-17 April 1969. Thurso, Caithness.
5. Препринт ИАЭ-1094, Москва, 1966.
6. Phys. Rev., 103, 1184 (1956).